

长三角城市群网络结构研究

——基于社会网络分析方法

李芝倩 樊士德¹

（南京审计大学 经济学院，江苏 南京 211815）

【摘要】 2019 年，安徽省所有城市被纳入长三角一体化框架，在纳入安徽省全城市群落后，新的长三角区域的网络特征和网络微观结构值得关注。文章采用社会网络分析方法研究发现，扩张后的长三角城市群网络结构主要特点为城市群网络密度高，跨省经济联系密切，但城市网络结构也呈现非均衡性。城市网络结构非均衡性主要表现为：城市中心性水平具有高度的区域差异性，高度中心性的城市节点主要集中在上海周边地区；除合肥、芜湖外，安徽省城市节点的中心性程度普遍居于尾段；核心城市和半边缘城市经济扩散效应显著，但皖北、皖南、浙东等地区的部分边缘城市吸收效应有待改进；皖北、皖南、浙东地区凝聚子群的对外经济联系相对较弱。因此，推动安徽省全城市群及浙东子群更紧密地融入长三角经济合作关系，是推动长三角城市群协调可持续发展的有效途径。

【关键词】 长三角城市群 城市网络结构 社会网络分析

【中图分类号】 F127；F290 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1007-5097（2021）06-0031-11

一、引言

在以分工与协作为特征的城市群发展背景下，城市群已经演变成为城市网络。城市网络立足于社会网络概念，将城市作为网络节点，使用节点间的“流数据”，从“关系”的角度阐释网络中各节点的地位和相互作用（刘军，2004）^[1]。节点间的经济联系表现为资本、人才、技术、信息、产品等资源在节点之间的流动。

中国的主要城市群包括京津冀城市群、长三角城市群、珠三角城市群、长江中游城市群、哈长城市群、成渝城市群、中原城市群、关平平原城市群等。其中长三角城市群是我国最重要的现代服务和先进制造业中心集中区域，并逐步建成高附加值的现代产业和区域协同创新体系。基于区域经济发展的内生需要，长三角城市群也在逐步扩展。1982 年，成立上海经济区，包括上海、苏州、杭州等苏南和浙北区域共 10 个城市。2003 年，正式成立长三角城市群，纳入南京、镇江、扬州、泰州、舟山和台州等 6 个城市。2008 年，长三角城市群再次扩容，纳入徐州、淮安、金华、温州等苏北 5 市和浙南 4 市。2016 年 6 月，合肥都市圈被列入长三角城市群规划¹，长三角城市群延伸到中部地区。2019 年 12 月，中共中央、国务院发布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，将长三角纳入长三角城市一体化。由此，扩大后的长三角城市群包括上海、江苏、浙江、安徽一市三省 41 个城市。

本次区域一体化设计反映了安徽省城市日益加强了与原长三角地区城市的分工与协作关系，从而导致长三角城市网络边界

¹**作者简介：**李芝倩（1980-），女，四川成都人，副教授，博士，研究方向：经济增长，区域经济发展；

樊士德（1979-），男，江苏连云港人，教授，博士，研究方向：经济增长，人口流动。

基金项目：国家社会科学基金项目“精准扶贫背景下中国劳动力流动的减贫效应与政策研究”（18BJL124）；江苏省社会科学基金项目“江苏城镇化高质量发展困境与破解研究”（18EYA003）

外延的可能性。本文希望解答的是：在将安徽省所有地级市纳入长三角城市群后，实现了边界外延的新长三角城市群的社会网络结构具有何种表现，进而有助于分析其对该区域进一步建设高水平区域协同发展机制有何影响。基于此，本文基于社会网络分析方法，对一体化后的新长三角城市群²的网络密度、网络中心性、核心—边缘结构与凝聚子群等进行分析，并对长三角区域一体化提出有针对性的改进建议，使得在该城市网络中加快形成集约化增长的空间格局。

二、文献综述

城市网络分析源于城市地理学研究。随着区域空间结构由单中心向多中心、网络化演进，一般系统论与城市地理学逐渐结合，网络化的观点被纳入城市群中心地等级关系的研究（Berry, 1964）^[2]。Klink (1998) ^[3]根据港口型城市的案例研究，提出以枢纽—网络法来研究城市间关系。

在这一背景下，社会网络分析（Social Network Analysis, SNA）成为研究城市网络的主要范式之一（Levine, 1972; Freeman, 1979）^[4-5]。该方法的核心是以“关系”为视角，以流数据为主要依据，通过中心性、凝聚子群等途径分析节点间的相对关系以及该区域的网络结构特征（刘军，2014; Marshall, 1989; 林聚任，2009）^[1, 6-7]。

城市间经济联系度是进行城市网络分析的基础数据，一些研究者将视角聚焦于使用修正的引力模型、城市潜能模型、经济辐射场模型、连锁网络模型等对城市间经济联系进行测算（方大春和周正荣，2013; 劳昕等，2016; 涂建军等，2019）^[8-10]。在得到经济联系度数据后，经济地理学者就可以采用社会网络分析方法对全国、城市群、省域等不同尺度的空间网络结构进行定量分析。其中，长三角城市群是这类研究的重点关注区域。

以原长三角区域为研究对象，侯赞慧等（2009）^[11]采用截至 2007 年的数据，指出原长三角城市群具有显著的核心—边缘结构，原长三角区域经济一体化程度并不高，但有向一体化发展的趋势。李响和严广乐（2012）^[12]使用 2009 年数据，张荣天（2017）^[13]使用截至 2013 年数据，发现原长三角城市群的多中心协同发展格局已基本形成，但节点间的不均衡现象明显。孙阳等（2017）^[14]使用 2016 年数据研究了原长三角城市群 16 个城市间的网络关系，指出该城市群以上海和南京为核心节点发挥着经济辐射功能，城市间的经济联系不均衡，城市网络具有多线程拓展、多中心的结构。

安徽地区城市群网络状态的研究成果对当前新长三角城市群网络结构的认识具有一定的借鉴意义。2008 年数据显示，江淮城市群具有弱核性、圈层与轴线复合型拓展模式等特点（李俊峰和焦华富，2010）^[15]。2009 年，9 个城市所构成的皖江城市带的经济联系处于弱联结状，核心—边缘结构明显，且核心区的发展态势明显优于边缘区（韩会然等，2011）^[16]。而在 2014 年，当研究视野扩展为 41 个城市组成的泛长三角区域时，该城市群已初步形成以上海为核心、南京和杭州承担次中心功能的城市网络，且发展迅速，城市网络呈现多中心、层级扁平化的特点，一个显著的特点是省级行政区划因素对该城市网络的影响较弱（黄琪等，2018）^[17]，这也是近年来与本文研究空间范围最接近的一项研究。当视野进一步扩大到沪苏浙皖赣五省区 52 个城市组成的城市网络时，该区域的城市等级体系体现出明显的金字塔结构，网络空间具有“圈层推进+轴线延伸”的态势（李功和顾朝林，2018）^[18]。

上述研究使用地区生产总值等区域产出数据，通过社会网络分析方法，阐释了长三角城市网络结构特征。此外，还有文献从产业或企业视角出发，使用产业产出或微观企业组织结构数据，以社会网络结构为载体，阐释长三角城市群所形成的分工与协作关系（王聪，2017; 王艳茹和谷人旭，2019）^[19-20]，将城市网络纳入了行业和企业发展的研究视角，这也将成为本文的后续研究方向。

综上所述，已有大量研究使用社会网络分析方法对长三角城市群进行网络结构观测，为本文提供了有益的参考，但由于长三角城市群空间范畴扩张的逐步化，截至目前以长三角为主题的相关研究主要探讨的是未包含安徽省全城市群落的。因此本文在借鉴前人研究基础上，采用社会网络分析方法，从网络密度、网络中心性、凝聚子群等角度揭示并整合了纳入安徽省全城市

群落后的新长三角城市群的网络结构与特征，为进一步提高该区域经济的协同一体化以及提出相关城市的发展战略提供客观依据。

三、研究区域、研究方法与数据来源

（一）研究区域

根据 2016 年 6 月国家发改委、住房城乡建设部发布的《长江三角洲城市群发展规划》，长三角城市群由上海、江苏、浙江、安徽一市三省联系紧密的 26 个城市组成，主要分布于国家“两横三纵”城市化格局的优化开发和重点开发区域。2019 年 12 月，中共中央、国务院发布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》，这意味着将上海、江苏、浙江、安徽一市三省全部 41 个城市纳入长三角城市群一体化范畴。该区域包括市区人口超过 1000 万人的上海和超过 500 万人的南京、杭州。在该区域中，根据 2018 年市区数据，人均地区生产总值最高的城市为无锡（161843 元）、南京（152886 元）和苏州（158309 元），最低的城市为阜阳（26328 元）、六安（28318 元）和亳州（29963 元）。

在长三角城市群规划中，长三角又被划分为六大都市圈，其中，南京都市圈与合肥都市圈在空间上重合较多。对于芜湖、马鞍山、滁州、宣城四城，由于行政管辖机制的原因属于合肥都市圈；同时，由于交通通达性优势和综合经济实力优势，一般认为上述四城也在南京都市圈中。

（二）研究方法和数据来源

1. 城市群经济联系度测算

本文运用修正的引力模型测算城市间的经济引力值。除特别说明，本文数据来自 EPS 城市数据库。

$$R_{ij} = k_{ij} \left(\sqrt{P_i V_i} \sqrt{P_j V_j} \right) / D_{ij}^2$$

其中： R_{ij} 为城市 i 对城市 j 的经济引力； k_{ij} 是指城市 i 的贡献率， $k_{ij} = V_i / (V_i + V_j)$ ； V_i 和 V_j 分别为城市 i 和城市 j 的经济规模指标，这里的贡献率可以理解为城市 i 对城市 j 经济成长的拉动能力； P_i 和 P_j 分别为城市 i 和城市 j 的人口规模指标，基于数据的可得性，本文选取城市的市辖区（市区）地区生产总值（亿元）和非农业人口（万人）分别作为经济规模和人口规模的核算指标； D_{ij} 为两城市间的距离（数据来自高德地图），鉴于公路交通是长三角区域内部最便捷和常用的交通方式，因此选择两城市的市政府间的最短公路距离³。为了避免网络出现封闭子环，城市与其自身间的经济联系度设为 0。

2. 整体网络密度

网络密度是指网络中各节点间关系的紧密程度，它表达了节点间联系的密切程度。在有向网中，整体网络密度可以通过公式 $\frac{m}{n(n-1)}$ 进行计算。其中： n 为网络中的节点数即城市数，则 $n(n-1)$ 表示各城市间最大可能关系数； m 为网络实际包含的关系数。网络密度越大，说明城市群内部城市间的关系越紧密。

3. 网络中心性

网络中心性指标能够反映城市群内空间交互作用，也能够反映城市作为节点在网络内交流活动中的地位。网络中心性可以分为点度中心性、中间中心性和接近中心性三个方面。反映中心性的指标包括中心度和中心势：中心度体现了节点在网络中所

处地位，包括绝对中心度和相对中心度，相对中心度是对绝对中心度进行标准化运算后的结果；中心势则是在中心度基础上的网络整合性分析，说明的是网络的总体整合度。本文采用相对中心度作为分析指标。

(1) 点度中心性指标。点度中心度反映节点 i 在网络中的中心地位，以 $C_{AD}(i)$ 表示绝对中心度，在有向网情形下， $C_{AD}(i)=i$ 点的点入度+ i 点的点出度。点入度是指进入到该点的其他点的关系数，点出度是指从该点出发连接到其他点的关系数。可见，相对点度中心度是指节点的绝对点度中心度与网络中节点的最大可能度数之比。设网络中共有 n 个城市节点，有向网中的相对点度中心度 $C_{RD}(i)$ 记为：

$$C_{RD}(i)=(i \text{ 点的点入度}+i \text{ 点的点出度})/(2n-2)$$

在整个网络图中，点度中心势 C 表达式为：

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n [C_{RDmax} - C_{RD}(i)]}{\max \left\{ \sum_{i=1}^n [C_{RDmax} - C_{RD}(i)] \right\}}$$

其中， C_{RDmax} 为各节点的点度中心度的最大值。

(2) 中间中心性指标。中间中心度反映的是节点对其他节点间交流的控制能力。如果该点对区域合作不支持，就会影响其他节点间的交流。设 g_{jk} 为节点 j 与节点 k 之间存在的捷径数， $g_{jk}(i)$ 为节点 j 与节点 k 之间存在的经过节点 i 的捷径数，则有 $b_{jk}(i)=g_{jk}(i)/g_{jk}$ ， $b_{jk}(i)$ 表示节点 i 处于节点 j 与 k 之间捷径上的概率，节点 i 的绝对中间中心度即 $C_{AB}(i) = \sum_{j,k} b_{jk}(i)$ 表示通过节点 i 的全部点对合计后的结果。相对点度中心度 $C_{RB}(i)$ 表达式记为：

$$C_{RB}(i) = \frac{2C_{AB}(i)}{C_{ABmax}}$$

在网络图中，中间中心势的计算方法为：

$$C_B = \frac{\sum_{i=1}^n [C_{RBmax} - C_{RB}(i)]}{\max \left\{ \sum_{i=1}^n [C_{RBmax} - C_{RB}(i)] \right\}}$$

其中， C_{ABmax} 和 C_{RBmax} 分别为各节点绝对中间度和相对中间中心度的最大值。

(3) 接近中心性指标。节点的接近中心性是从距离 (Freeman, 1979)^[5] 来考虑节点在交流活动中不依赖于其他节点的程度。当节点 i 距离网络中其他节点较近时，就更容易与其发生信息与资源的交流，并且这种交流较少依赖于其他节点“是否允许其通过”。因此，节点 i 的绝对中心度可以表示为 $\frac{1}{\sum_{j=1}^n d_{ij}}$ 即该点与网络中其他点的捷径距离之和，其中 d_{ij} 为节点 i 到节点 j 间的捷径距离（捷径中包含的线程数）。相对中心度与网络规模有关，即 $\frac{C_{AD}(i) \cdot (n-1)}{C_{AD}} = \frac{(n-1)}{\sum_{j=1}^n d_{ij}}$ 在星型网络中，接近中心势可以表示为：

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^n [C_{RP \max} - C_{RP}(i)]}{(n-1)(n-2)/(2n-3)}$$

其中， $C_{RP \max}$ 为各节点接近中心度的最大值。

4. 核心—边缘结构和凝聚子群

在社会网络分析中，凝聚子群来自派系这一概念，是指网络中具有相对直接、紧密、经常性联系的节点的集合。核心—边缘结构是指这样一种网络构成：外围节点关系疏远并呈散射状分布，而核心节点则密切相连且组成一个不能再被细分的凝聚子群。对于规模较大的长三角城市群而言，核心—边缘结构和凝聚子群分析能够更为细致地展示城市群内部的群落构成以及核心城市对周边城市的辐射作用。

本文通过构建连续的核心—边缘模型测算节点城市的核心度，并以核心度基尼系数观察核心度的不均衡程度；再通过使用迭代相关收敛法（CONCOR）对长三角城市群进行非重叠性的聚类分析。这一分析方法是将经济联系密切且具有相似结构的城市划分到一个凝聚子群，而不是社会学意义上的内部小团体划分。

四、长三角城市群的网络结构

（一）经济联系度

根据修正的引力模型，本文核算了长三角城市间经济联系度，并采用 Ucinet6 程序对长三角城市群进行网络结构分析。该城市群网络规模为 41，为了避免网络出现封闭子环，不考虑城市与自身的经济联系，因此共有 1640 个有向经济联系。本文参考黄勤和刘素青（2017）^[21]的划分方法，将经济联系度划分为紧密、较紧密、较松散、松散四个层次。

根据测算结果，在新的长三角城市群中，松散联系占 56.46%，随着向紧密联系过渡，城市间联系具有金字塔型构造。若将该城市群中的苏浙沪区域与安徽省区域视作两个独立的城市群来进行比较，苏浙沪两省一市城市共 25 个，相互之间形成 600 个有向经济联系；安徽省城市共 16 个，相互之间形成 240 个有向经济联系。经济联系的紧密程度从高到低依次为苏浙沪区域、长三角城市群、安徽省区域。

（二）城市群网络密度

本文分别设置经济联系度的临界值为 1、100，生成了纳入安徽省全部城市后的长三角城市群经济联系网络拓扑图，如图 1、图 2 所示。

在该城市群中，有向性的经济联系度最高为上海→苏州的 791.6774，最低为丽水→淮北的 0.0138。图中的箭头表明了经济联系的方向性。

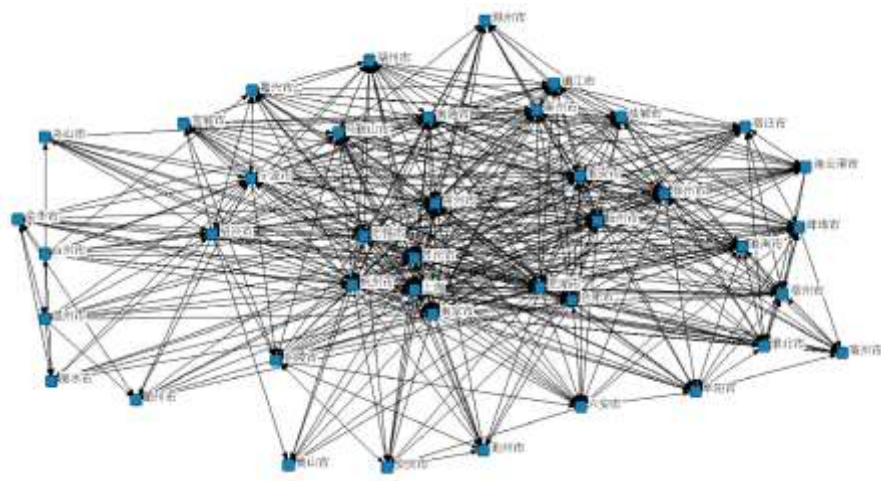


图 1 临界值为 1 的长三角城市群经济联系网络拓扑图

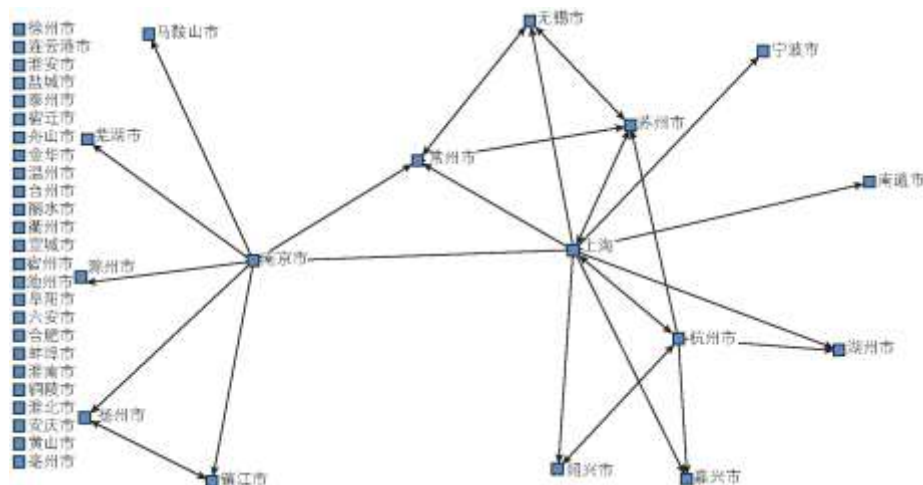


图 2 临界值为 100 的长三角城市群经济联系网络拓扑图

从经济联系度指标来看：

(1)城市群覆盖范围大,城市节点间关系密切,城市群集群优势明显。上海是该城市群最重要的中心城市,根据王洁方(2013)^[22]对经济联系度的分类,上海与周边的苏州、杭州形成了高度的双向强联系。

(2)参考李响和严广乐(2012)^[12]的建议,本文将 1 作为经济联系度的界值,以界定城市间是否存在经济联系,在此基础上计算得到纳入安徽省全部城市后的长三角城市群的网络密度为 0.435,这一密度值低于多数以原长三角城市群为研究对象的研究结果。本文将同一时期苏浙沪地区设为一个城市群网络,采用相同方法计算所得的整体网络密度为 0.635,两者相差达 0.200。作为长三角城市群一体化的新成员,安徽省的多数城市不仅与原三角地区城市经济联系度较低,甚至其省内城市之间的经济联系度也相对较低。针对这一比较结果,本文认为,可能的原因是城市群空间范围增大,或因安徽省部分城市由于地缘因素和产业结构因素,参与区域分工的程度还较低。

(3)当取临界值为 100 时,拓扑图说明长三角城市群出现了东西两部相互联系又周边辐射的态势。在城市群东部,上海向

杭州、苏州、常州等城市发挥高度的扩散效应；在城市群西部，南京作为区域化的辐射中心，一方面接受上海的经济辐射，一方面向马鞍山、芜湖等城市发挥扩散效应，安徽省城市接受南京经济扩散效应的程度并未受到行政区域的影响。但东西两部相比，上海能够与苏州、杭州产生双向的强联系，而南京所产生的强联系都是出向的，并未出现入向的强联系。这说明城市群西部城市间经济联系程度和经济协作关系略低于东部。

（三）中心性特征

本文基于经济联系度，采用 2017 年样本值测算了长三角城市群的标准化中心度指标，从而观察此次长江三角洲区域一体化所面对的区域结构特征，有利于有针对性地实施区域一体化措施。

（1）点度中心度。可以看出，在点出方面，上海居于首位，表明上海通过其国际型大都市的地位向其他城市发挥了明显的经济扩散效应。通过比较发现，安徽省城市的辐射能力在区域内较弱，主要原因是安徽省处于长三角城市群的西隅，且总体经济实力在城市群内处于偏弱地位，导致了其经济扩散效应较低。从城市角度来看，苏州、南京、杭州、无锡、常州等城市与周边城市存在大量的资源输出，带动了周边地区的经济发展。

在点入度方面，苏州是长三角内点入度最高的节点城市，紧随其后的是无锡、常州、杭州、绍兴。这些城市充分利用上海的外溢效应，吸收到大量的信息、物流和资本，推动了苏南、浙北地区的经济发展和城市间联系。

以上有向的点度中心度数据表明，上海以及周边的苏南、浙北地区是该城市群内经济联系最密切的区域。上海是长三角城市群中最重要的核心节点，其资源外溢效应带动了周边区域的发展。与此同时，周边城市也通过制定相应的要素承接政策和空间邻近优势，吸收了这部分外溢效应，使得上海以及苏南、浙北地区成为该城市群内具有较高点度中心度的区域。

另外，从同一城市的点出度和点入度来对比可以观察到，点出度大幅度高于点入度的城市是宁波、合肥、徐州和温州。这些城市在其周边区域中，是典型的输出型节点，在子群中发挥着外溢效应作用。点入度大幅度高于点出度的城市是嘉兴、湖州、滁州、宣城，其中嘉兴和湖州正是承接上海资源的典型城市代表；滁州位于南京与合肥的地理中间带，宣城北接安徽省第二大城市芜湖，东北向与南京接壤，有利的地理位置促进了上述城市从核心城市获取资源。

就整个网络而言，长三角城市群出向的点出度中心势为 78.24%，入向的点入度中心势为 34.30%。该城市网络等级层较少，分布较平坦，围绕特定节点的集中趋势较高。点出度中心势远高于点入度中心势，说明总体而言，在外溢效应方面，核心节点发挥着更为重要的作用，而在边缘节点的吸收能力还有待提高。

（2）中间中心度。节点的中间中心度反映了该节点在城市网络中对其他节点在构成联系时的传递作用。可以发现，上海的点度中心度居于第 6 位，可能的原因是位于城市群东缘这一地理因素；长三角地区的 3 个省会城市占据了中间中心度第 2、3、4 的排位，在一定程度上说明行政力量所带动的联系在区域经济中仍具有重要的作用。除了上述省会城市以及上海以外，常州、绍兴、苏州、金华、徐州、淮安也在中间中心度前 10 位城市中，表明在长三角城市群的构成中，苏浙沪由于长期经济社会积累，城市间联系紧密，一些区域中心城市有效地支持了其他城市间的要素交流。长三角城市群网络的中间中心势为 15.58%，表明该城市网络集中的趋势较明显，城市网络对资源在节点间的流动具有较高的支持程度。

在 41 个城市中，有 8 个城市的中间中心度接近 0，但通过其点度中心度和接近中心度指标观察可知，这些城市在城市群中并未被孤立。虽然它们几乎未能对其他城市间的经济联系发挥中介传递作用，但它们仍通过其他节点的外溢和传导效应与其他节点发生着经济联系。

（3）接近中心度。在城市群中，接近中心度越高，反映出该城市节点与目标城市之间的经济联系越不会受到其他城市的影

响，在城市群中越是处于核心的地位。

可见，在点出度方面，上海、南京、苏州、杭州、无锡等城市可以近乎“无阻碍”地向其他城市“发出经济联系要约”，即发挥辐射功能；合肥、扬州、淮安、常州也具有较高的外向接近中心度，说明这些城市向外的经济联系较少受到其他城市的影响。这种不受影响的地位，往往来自交通条件、产业结构等方面的优势。在点入度方面，城市节点间相对较为均衡，说明长三角城市群内的城市在“响应经济联系要约”方面差异度较低，都能在一定程度上不受到其他节点的影响。

综合以上三个方面的中心性数据，可以发现长三角城市群具有以下特征：(1)上海作为城市群中的核心城市，在点度中心度和接近中心度指标中均显示出高度的点出度，显示出上海对城市群内的其他城市具有积极的外溢效应；(2)除上海外，城市群内还存在一些区域中心城市，通过这些中心城市，使得城市群内的各城市紧密相连；(3)由于历史、交通、经济发展水平等原因，苏浙沪地区特别是接近上海的苏南、浙北地区在城市群中联系相对更为紧密；(4)安徽在城市群内的联系度还有较大的提升空间，特别是亳州、安庆、黄山三城市分别位于淮北平原、沿江平原和皖南山区，且亳州、安庆的路网密度在安徽省内较低，因此，从这一角度看，发展交通是改进节点城市中心性的可行性选择。

(四) 核心—边缘结构与凝聚子群分析

由于城市群空间范围广，因此核心—边缘结构和凝聚子群分析是观察该城市群结构特征的重要途径。本文采用 Ucinet6 计算得到城市的核心度，并参考黄勤和刘素青（2017）^[21]的划分方法，将核心度最高的城市作为本网络的核心城市，此外核心度大于等于 0.05 的为半边缘城市，核心度小于 0.05 的作为边缘城市。

长三角城市群核心度的基尼系数为 0.796，表明该城市网络具有明显的核心—边缘结构。上海作为整个城市群的核心城市，核心度达到 0.68，半边缘城市多位于围绕上海的苏南、浙北区域，而安徽省所有城市均为边缘城市。

通过聚类分析法，本文得到该城市群的凝聚子群分布情况。设定切分深度（depth of splits）为 3 时，长三角城市群可分为 8 个凝聚子群。

子群 1 为以上海为核心所带动的沪苏锡常通泰子群，在这一子群中，苏锡常与上海具有非常紧密的经济联系，近年来，泰州也加入了这一子群。子群 2 为以杭州为核心的杭嘉甬越通子群。当设定切分深度为 2 时，子群 1 和子群 2 又构成一个新的子群，在这一子群中，作为次级中心的杭州和宁波为上海向浙江地区的辐射效应提供了传导途径，所列的核心城市和半边缘城市也多集中于该区域。子群 5 以南京为核心，形成了宁扬镇盐滁子群，其中南京作为半边缘城市，为上海向江苏和安徽部分地区的辐射效应提供了传导途径。子群 6 以合肥为中心，形成了合芜马铜宜宣池为节点的皖中皖南子群。除上述子群外，还形成了子群 3 即以温州为中心的浙东子群、子群 4 即以金华、衢州为中心的浙西皖南子群、子群 7 即以徐州为中心的苏北皖北子群和子群 8 即以蚌埠为中心的皖北子群。观察其新一级的子群联系，发现沪苏锡常通泰子群与杭嘉甬越通子群、宁扬镇盐滁子群与皖中皖南子群、苏北皖北子群与皖北子群具有较为密切的联系。

以上子群研究表明，长三角城市群表现出核心城市—半边缘城市—边缘城市的多层级结构特征以及轴线延伸与圈层扩展的空间态势。子群的构成与联系在很大程度上与苏南、浙北、皖北等经济地理概念相符。该区域内凝聚子群的形成在一定程度上受城市行政等级的影响，但更多的是基于经济实力和交通地理条件形成的要素关联链。

子群密度是凝聚子群分析的重要指标，内部子群密度反映了子群内的联系程度，外部子群密度则反映了子群之间的联系程度。

从子群内部来看，子群密度从高到低依次为沪苏锡常通泰子群、杭嘉甬越通子群、宁扬镇盐滁子群、苏北皖北子群、皖中

皖南子群、浙东子群、皖北子群、浙西皖南子群。其中最高的沪苏锡常通泰子群的密度是最低的浙西皖南子群密度的 120 倍。以程度来区分，以上海、杭州和宁波、南京所带动的子群具有紧密的内部经济联系；虽然同样为省会城市和子群中心，合肥所带动的皖中皖南子群则呈现出较低的内部经济联系水平；以金华、衢州为中心的浙西皖南子群也存在内部联系不紧密的情况。

从子群外部来看，子群外部密度普遍小于子群内部密度，说明在城市群中，要素流动与区域经济协作是具有等级的，往往是在凝聚子群内具有更为密切的联系。子群外部密度较高的有：沪苏锡常通泰子群—杭嘉甬越通子群、沪苏锡常通泰子群—宁扬镇盐滁子群、杭嘉甬越通子群—浙东子群、杭嘉甬越通子群—宁扬镇盐滁子群、宁扬镇盐滁子群—皖中皖南子群、宁扬镇盐滁子群—苏北皖北子群。这印证了上海作为核心城市，杭州、南京、宁波作为半边缘城市构成了良好的要素传播链以及区域间协作关系。杭州对浙东具有良好的辐射效应，而南京对苏北、皖北均表现出很强的区域经济协作能力，带动了原长三角城市群向西侧的扩张。

为了更清晰地描述凝聚子群之间的影响关系，本文将密度矩阵中的值与整体网络密度进行比较，大于网络密度则像密度取为 1，小于网络密度则像密度取为 0，生成长三角城市群的密度像矩阵。

对角线上均为 1，符合凝聚子群的“位置层次自反式”特点，即每个子群内的成员间存在相互协作的关系。从行数据来看，沪苏锡常通泰子群、杭嘉甬越通子群和宁扬镇盐滁子群的密度像在同一行都为 1，说明这三个子群对其他所有子群都存在影响力。从列数据来看，除了浙西皖南子群外，所有子群都能与沪苏锡常通泰子群建立有较为密切的联系；除浙西皖南子群和皖北子群外，其他子群也都与杭嘉甬越通子群能够建立较为密切的联系，同时皖北子群也能够与宁扬镇盐滁子群建立密切的联系。可见，由于历史、经济、地理多方面的原因，原长三角地区的凝聚子群之间存在密切的联系，而在近年来安徽省城市逐渐扩入长三角城市群的进程中，虽然由于地理等条件，安徽省城市所构成的子群普遍与浙江地区的子群联系尚弱，但以合肥、芜湖、滁州为代表的城市能与城市群中的核心子群沪苏锡常通泰子群、宁扬镇盐滁子群产生密切的联系。

上述密度矩阵和密度像矩阵都表明，由金华、丽水、衢州、黄山所构成的浙西皖南子群在长三角城市群内是一个比较特殊的子群，其内部密度和外部密度均处于低水平。当使用密度像来进行分析时，可以判断该子群内部仍存在“自反式”特征。就其外部联系而言，浙西皖南子群能够受到沪苏锡常通泰子群、杭嘉甬越通子群、宁扬镇盐滁子群和浙东子群的影响，但是该子群对任何其他子群都不能构成影响。造成这一现象的原因可能是该地区的经济水平在城市群内处于较低水平⁴，也可能是该地区多山地丘陵的地理环境和交通条件，抑或是上述两个方面的综合作用。此外，该地区整体上缺乏半边缘城市，导致在区域外部较难吸收核心城市的辐射效应，在区域内部缺乏区域中心的整合作用，从而无论是区域内部还是与外部的要素联系都较弱。

五、结论与建议

本文通过社会网络分析方法，研究苏浙沪皖一市三省所构建的长三角一体化区域的网络结构。综合上文分析，经历了此次扩张的长三角城市群具有如下特征：

（1）长三角城市群城市网络较为成熟，具有一体化的良好基础。长三角区域包括上海、南京、杭州等城市，总体而言，城市间经济联系度高，经济联系密切，城市群集群优势明显，通过核心度指标观察得到，该区域形成了明显的核心城市—半边缘城市—边缘城市所构成的金字塔型层级结构。

（2）长三角城市群已经形成跨省域的区域合作格局。网络拓扑结构显示，在城市群东侧，上海与苏州、常州等周边城市形成了密切的经济协作网络；在城市群西侧，南京与安徽西部城市形成了高度的经济联系。凝聚子群分析也显示，在所形成的 8 个凝聚子群中，浙西皖南子群、宁扬镇盐滁子群、苏北皖北子群均模糊了省域空间界线，省级区划并未影响长三角城市间的经济协作关系。跨省协作网络的形成受益于区域的人文、方言等历史传统，也受益于近年来跨省交通和通信设施的改进。

(3) 城市间参与区域分工与协作的程度具有不均衡性。与原长三角地区的城市相比,新纳入长三角的安徽省多数城市所表现出的经济联系度相对较低,其表现不仅是与距离较远的原三角地区城市经济联系度较低,而且与安徽省邻近城市之间的经济联系度也较低。核心—边缘结构的分析显示,核心城市和半边缘城市全部集中于苏浙沪区域,而安徽省所有城市都为边缘城市。当采用有向网的方法研究后发现,在整个城市群视阈中,区域内核心城市和半边缘城市经济扩散效应明显,核心城市和半边缘城市的部分周边城市也对上述扩散效应表现出良好的吸收机制;但距离较远的城市则表现出吸收效应较弱。相比而言,以上海为中心的东部经济协作网络更为成熟,表现为上海与周边城市的经济联系为双向强联系,而西部江苏、安徽区域的协作网络则表现为以南京等半边缘城市的输出为主。城市群内的子群间差异明显,浙西皖南子群、皖北子群等发展较为滞后,内部联系与外部联系均较弱。

由此可见,在长三角内部,安徽区域和浙西地区城市参与长三角经济协作的水平相对较低,且主要以跟随者的身份参与区域分工。由上述分析可知,空间距离和交通状况可以在一定程度上解释安徽省城市与长三角区域内核心城市和半边缘城市经济联系较低的状况,但其与邻近城市间经济联系度较低的原因应更多地应考虑为在经济体量、产业结构方面还未能较好地参与区域协作分工体系。

长三角区域较为成熟的城市网络为长三角区域一体化提供了实施基础,而区域一体化发展规划又为长三角城市网络的进一步发展提供了政策条件。在此背景下,本文认为,应从以下几个方面强化协同合作的网络化区域发展体系。

(1) 改进区域一体化规则机制。实现区域一体化,需要消除区域间行政壁垒和机制障碍。本文的分析已验证了省级区划对长三角区域经济协作并未构成负向影响。因此,应进一步建立省级政府之间的政策沟通协调机制,在投融资服务、标准管理等领域形成与时俱进的协同方案和协同机制,鼓励经济联系紧密的市级政府之间公共服务联通化,探索区域间成本共担利益共享机制,并在上述协同机制基础上,促进长三角区域要素市场和商品市场的一体化,例如增强户籍的柔性迁移,建立无区域障碍的技术与知识产权交易市场等,特别是鼓励皖北、皖南、浙东地区加强区域内协作以及与邻近区域的半边缘城市的协作。

(2) 推动发展长三角城市间产业分工协作。长三角在高水平制造业和生产者服务业方面具有明显的竞争优势。长三角城市群应在已有的产业基础上,打造全国先进制造业集聚区,争取形成世界性制造业集群。在这一过程中,首先要做到以推动产业结构升级和区域间协作为目标,支持龙头企业成立区域产业联盟,加强产业链跨区域协同;其次应着重在城市群内相对滞后的皖北、皖西、浙西南等地区,引导其从自身要素禀赋结构出发,发展具有比较优势的产业,打破地方分割和地方保护,更为有效地参与区域专业分工。

(3) 推动区域性中心城市建设。本文研究显示,半边缘城市的分布具有区域不均衡性,集中在苏南、浙北地区。安徽省以及苏北地区没有半边缘城市,因此,应推进上述地区中经济水平相对较高的城市如合肥、芜湖、扬州、淮安等城市发展成为区域性中心城市,从而带动相应凝聚子群的发展。

(4) 发展多层次多元化的交通方式。长三角地区的交通在近年来取得了长足的进步,安徽省已经成为全国第二个实现“市市通高铁”的省份,苏北地区截至2025年将建成8条高铁路线。但是,由于自然条件等方面的影响,长三角城市群内的交通条件仍是不均衡的。在已有规划的基础上,本文认为还应在安徽省亳州、六安、池州、安庆等城市加强路网建设,增强公路运输能力;在保证长江通航能力的前提下加强长江南北过江通道建设,加强长江南北间经济通达能力。

参考文献:

[1]刘军.整体网分析[M].北京:社会科学文献出版社,2014:22-27.

[2]BERRY B J L.Cities as Systems Within Systems of Cities[J].Papers in Regional Science,1964,13(1):147-163.

-
- [3]KLINK H.The Pork Network as a Stage in Port Development:the Case of Rotterdam[J].Environment and Planning A, 1998, 30(1):143-160.
- [4]LEVINE J H.The Sphere of Influence[J].American Sociological Review, 1972, 37:14-27.
- [5]FREEMAN L C.Centrality in Social Networks:Conceptual Clarification[J].Social Networks, 1979, 1(3):215-239.
- [6]MARSHALL J U.The Structure of Urban Systems[M].Toronto:University of Toronto Press, 1989.
- [7]林聚任. 社会网络分析: 理论、方法与应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2009:105-146.
- [8]方大春, 周正荣. 安徽省城市经济联系结构研究: 基于社会网络分析[J]. 华东经济管理, 2013, 27(1):18-22.
- [9]劳昕, 沈体雁, 杨洋, 等. 长江中游城市群经济联系测度研究——基于引力模型的社会网络分析[J]. 城市发展研究, 2016, 23(7):91-98.
- [10]涂建军, 罗运超, 张骞, 等. 改革开放 40 年来中国城市经济联系空间格局演化[J]. 经济地理, 2019, 39(3):1-11.
- [11]侯赟慧, 刘志彪, 岳中刚. 长三角区域经济一体化进程的社会网络分析[J]. 中国软科学, 2009(12):90-101.
- [12]李响, 严广乐. 长三角城市群网络化结构特征研究及实证分析[J]. 华东经济管理, 2012, 26(1):42-46.
- [13]张荣天. 长三角城市群网络结构时空演变分析[J]. 经济地理, 2017, 37(2):46-52.
- [14]孙阳, 张落成, 姚士谋. 长三角城市群“空间流”网络结构特征——基于公路运输、火车客运及百度指数的综合分析[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(9):1304-1310.
- [15]李俊峰, 焦华富. 江淮城市群空间联系及整合模式[J]. 地理研究, 2010, 29(3):535-544.
- [16]韩会然, 焦华富, 李俊峰, 等. 皖江城市带空间经济联系变化特征的网络分析及机理研究[J]. 经济地理, 2011, 31(3):384-389.
- [17]黄琪, 李影影, 曹卫东, 等. 区域空间网络化概念模型与过程研究——以泛长三角为例[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2018, 52(3):400-408.
- [18]李玢, 顾朝林. 基于等级-网络分析框架的泛长江三角洲中心城市评价研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(5):949-959.
- [19]王聪. 基于生产性服务业的长三角城市网络空间演化特征[J]. 经济地理, 2017, 37(12):121-128.
- [20]王艳茹, 谷人旭. 长三角地区城市网络结构及其演变研究——基于企业联系的视角[J]. 城市发展研究, 2019, 26(6):21-29, 78.

[21]黄勤, 刘素青. 成渝城市群经济网络结构及其优化研究[J]. 华东经济管理, 2017, 31(8):70-76.

[22]王洁方. 苏中南地区城市经济联系网络结构对比分析[J]. 华东经济管理, 2013, 27(8):70-73.

注释:

1 资料源于 2016 年 6 月中华人民共和国国家发展和改革委员会《关于印发长江三角洲城市群发展规划的通知》。在该通知中, 徐州、淮安、连云港、宿迁、温州、丽水 and 衢州等 7 个城市被移出了长三角城市群。

2 本文所研究的“长三角城市群”是指 2019 年 12 月后由上海、江苏、浙江、安徽一市三省中 41 个城市所构成的新长三角城市群。在 2019 年 12 月之前, 该区域也被称为泛长三角。为了与 2019 年 12 月增扩城市之前的长三角城市群相区分, 本文将 2019 年增扩城市之前的长三角区域称为“原长三角城市群”。

3 考虑长三角的物流和人口交通模式, 选择“驾车”选项采集两城市间交通距离, 且不考虑拥堵情况, 以便去掉拥堵造成的可能的路线设计变更。高德地图数据采集于 2019 年 12 月 10 日, 城市地点定位为市政府所在地。即使在收集产出与人口数据的 2017 年度与收集距离数据的 2019 年度间出现了市政府的市内迁移, 也不会对城市间的通勤距离产生显著影响。

4 根据 EPS 中国城市数据库数据, 在 41 个城市所组成的该城市群中, 金华、丽水、衢州、黄山四城市的人均地区生产总值在 2017 年的排位分别是 25、24、28 和 31, 使得该子群缺乏强有力的半边缘城市作为桥梁沟通与其他子群的经济联系。